

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Brushless DC

Brushless direct current (BLDC) merupakan Motor DC tanpa menggunakan sikat merupakan motor yang memiliki efisiensi baik, lebih handal, umur lebih panjang dan cukup mahal. Motor ini memiliki bagian rotor berupa magnet permanen dan bagian stator berupa belitan untuk menghasilkan medan magnet. Pengubahan polaritas motor BLDC dilakukan secara elektronik menggunakan sensor *hall-effect* dan *rotary encoder*. Sistem motor DC tanpa sikat mengacu pada konsep rangkaian elektromekanik sistem penggerak yang tanggap dan hemat energi. Sistem tersebut dibangun melalui perpaduan elektromekanik, rangkaian elektronika, sistem sensor (Jatmiko, 2018).

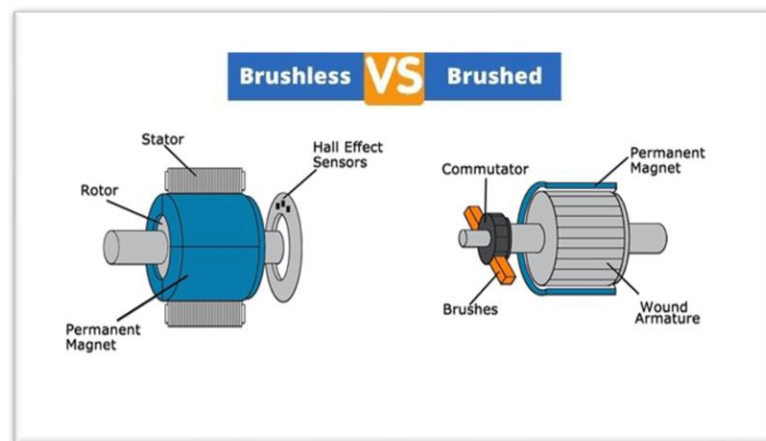
Secara konstruksi, pada umumnya motor BLDC terdiri dari rotor magnet permanen dan stator berupa belitan kawat. Di dalam motor juga dilengkapi dengan sensor hall effect untuk mendeteksi posisi magnet pada rotor. Rangkaian daya yang digunakan untuk pensaklaran pada motor BLDC berupa inverter tiga fasa untuk dapat mengalirkan arus/tegangan bolak-balik *alternating current* (ac) yang menghasilkan elektromagnetik kutub utara maupun selatan. Dan digunakan juga mikrokontroler dengan suplai dari satu daya. Konstruksi motor BLDC terdiri dari delapan kutub rotor dan 12 kutub stator. Dalam implementasi ini dilakukan kajian dengan pembebanan pada motor BLDC, Pembebanan direalisasikan dengan menggunakan generator DC yang diaplikasikan sebagai roda pada sistem penggerak mekanik yang dibebani dengan tiga variasi resistor pada kondisi motoring untuk mendapatkan respon motor (Yunus Chandra Wibowo, 2019).

Keuntungan seperti efisiensi tinggi, rasio inersia/torsi tinggi, jangkauan pengaturan kecepatan yang besar dan rendahnya electro- magnetic interference (EMI) menjadi alasan motor brushless DC (BLDC) menjadi pilihan yang tepat dalam banyak aplikasi di kehidupan sehari-hari seperti pada peralatan rumah tangga, industri dan kesehatan. Oleh karena itu motor bldc menjadi salah satu pilihan alternatif dikarenakan motor BLDC memiliki beberapa keunggulan dibandingkan motor dc konvensional yang masih menggunakan brush dan komulatur sedangkan motor BLDC tidak

menggunakan brush dan komutator melainkan menggunakan rangkaian elektronika sebagai kendali motor BLDC tersebut (Danu Akbar, 2018)

Motor BLDC memiliki banyak keunggulan dari motor DC yang menggunakan sikat, Adapun keunggulan tersebut adalah biaya perawatan motor BLDC juga jauh lebih rendah dibanding kan motor listrik jenis lainnya, mempunyai rasio torsi yang tinggi terhadap berat, peningkatan pada sisi efisiensi, pengurangan pengaruh kebisingan, memiliki umur pakai yang lebih lama karena tanpa gesekan sikat dan komutator, penghilangan percikan pengion dari komutator, mengurangi gangguan electromagnetic, Motor dapat didinginkan dengan konduksi, hal ini dikarenakan motor tidak mengalami gaya sentrifugal, Tidak membutuhkan aliran udara didalam sebagai pendingin, karena bagian dalam motor sepenuhnya tertutup sehingga terlindungi dari debu dan benda asing (Dwi Harjono, 2021).

2.2 Jenis-Jenis Dinamo Sepeda Listrik



Gambar 2. 1 Jenis-jenis dinamo sepeda listrik

Motor Brushed menggunakan konfigurasi gulungan kawat (dinamo) yang berfungsi sebagai elektromagnet di dua kutubnya. Arah arus dibalik dua kali per siklus oleh komutator. Inilah yang memfasilitasi aliran arus melalui dinamo, dengan demikian kutub elektromagnet menarik dan mendorong magnet permanen disepanjang bagian motor. Kemudian komutator membalik polaritas dinamo saat kutubnya melintasi kutub magnet permanen. Selain itu kumparan (Coil) pada motor brushed terdapat dibagian tengahnya sehingga yang berputar adalah bagian coilnya. Brushed motor hanya memakai dua kabel saja yaitu + dan - , biasanya ini juga langsung disambungkan ke papan mainboard. Sedangkan, pada Motor Brushless (BLDC) menggunakan konfigurasi magnet permanen sebagai rotor eksternalnya.

Selain itu, ia juga menggunakan tiga fase kumparan penggerak serta sensor khusus yang melacak posisi rotor.

Ketika sensor melacak posisi rotor, ia mengirimkan sebuah sinyal referensi ke pengontrol (controller), selanjutnya giliran pengontrol yang mengaktifkan kumparan dengan cara terstruktur, fase demi fase. Untuk kumparan atau coil yang dimiliki motor brushless, terdapat lebih dari satu. Dan umumnya memiliki tiga buah coil yang masing-masingnya memiliki satu kabel untuk masuk ke ESC atau baterai. Inilah yang berbeda, pada motor ini yang berputar bukanlah coilnya, ia menempel di bagian wadah motornya, dan yang sebenarnya berputar adalah bagian magnetnya.

1. Contoh Brushed Motor



Gambar 2. 2 Brushed motor

Motor jenis brushed motor banyak di gunakan di berbagai peralatan Elektronika maupun mainan RC yang standar. Dinamo yang sering digunakan pada tamiya dan mainan lainnya juga termasuk ke dalam jenis motor brushed. Selain itu dinamo yang ada pada printer yang memiliki dua kabel, juga termasuk jenisnya. Bahkan saat ini sepeda listrik juga menggunakan dinamo jenis ini. Karena harganya yang terbilang murah, penggunaannya pun termasuk ke hal yang simple.

2. Contoh Brushless Motor (Dinamo BLDC)



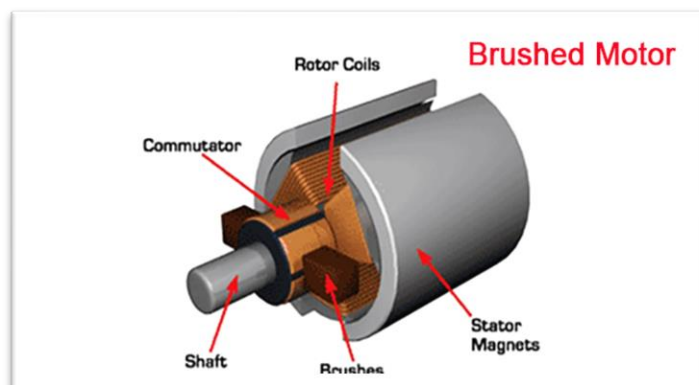
Gambar 2. 3 brushless direct current (BLDC)

Untuk motor jenis Brushless Motor (BLDC) ini lebih digunakan untuk pemakaian yang lebih kompleks, seperti contoh untuk membuat drone, halicopter mainan, merakit sepeda listrik dan lain sebagainya. Selain itu robot juga dapat menggunakan motor jenis ini. Ya mungkin sudah bisa kamu tebak, harga dari motor brushless lumayan mahal jadi untuk orang-orang yang ingin membuat sesuatu yang kompleks atau membutuhkan kualitas dan kemampuan, motor brushless lebih cocok untuk itu.

3. Perbandingan Brushed dan Brushless Motor

Tentunya kamu sudah membaca pembahasan diatas, jelas saja kedua jenis motor tersebut memiliki perbedaan. Untuk melihatnya simak ringkasan dibawah ini.

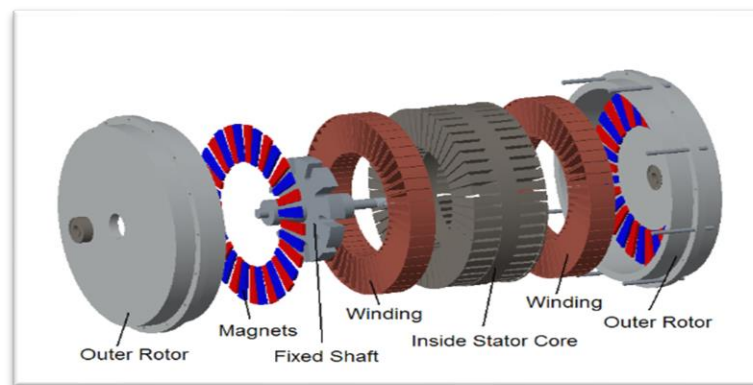
a. Brushed Motor



Gambar 2. 4 Gambar brushed motor

1. Mekanisme dinamo simple.
2. Tidak membutuhkan hall sensor.

3. Tidak membutuhkan Electric Controller (ESC).
 4. Membutuhkan maintenance secara berkala.
 5. Jika digunakan pada sepeda listrik harus menggunakan gear tambahan, dan ini sangat boros energi.
 6. Suara putaran yang lebih bising.
 7. Bagian coil-nya yang berputar.
- b. *Brushless direct current* (BLDC)



Gambar 2. 5 BLDC

1. Efisiensi tinggi dan lebih hemat baterai
2. Membutuhkan Electric Controller (ESC)
3. Lebih awet, dan hanya sesekali membutuhkan maintenance
4. tidak memerlukan gear tambahan
5. Kecepatan putarannya tidak terlalu bising
6. Yang berputar adalah bagian magnetnya
7. Torsi akselerasi lebih besar
8. Tidak terjadi panas berlebih pada dinamo
9. Lebih mudah ditemukan (karena model terkini)

2.3 Kontruksi *Brushless Direct Current* (BLDC)

Kontruksi motor *Brushless Direct Current* (BLDC) tanpa sikat arus yang searah terdiri atas 3 komponen utama yaitu stator, rotor, sensor hall berikut penjelasan 3 komponen tersebut :

1. Rotor

Rotor adalah bagian motor yang berputar karena adanya gaya elektromagnetik dari stator. Rotor pada motor BLDC berbeda dengan rotor pada motor DC konvensional yang hanya tersusun dari satu buah elektromagnet yang

berada di antara brushes (sikat). Rotor terdiri dari beberapa magnet permanen yang saling direkatkan dengan epoxy, serta jumlahnya dapat di variasikan sesuai dengan desain. Jumlah kutub magnet berbanding lurus dengan torsi motor, namun berbanding terbalik dengan RPM. Semakin banyak jumlah kutub magnet pada rotor, semakin tinggi pula torsi yang akan dihasilkan, namun konsekuensinya RPM motor akan turun.



Gambar 2. 6 Rotor BLDC

2. Stator

Stator (Kumparan) BLDC Stator adalah bagian motor yang diam/statis dimana fungsinya sebagai medan putar motor untuk memberikan gaya elektromagnetik pada rotor sehingga motor dapat berputar. Stator pada BLDC motor hampir sama dengan stator motor listrik konvensional, hanya berbeda pada lilitannya. Stator terbuat dari tumpukan baja yang dilaminasi dan berfungsi sebagai tempat lilitan kawat. Lilitan kawat pada BLDC motor biasanya dihubungkan dengan konfigurasi bintang atau Y. Pada motor DC brushless statornya terdiri dari 62 belitan (elektromagnet) yang bekerja secara elektromagnetik dimana stator pada motor DC brushless terhubung dengan tiga buah kabel untuk disambungkan pada rangkaian kontrol, sedangkan pada motor DC konvensional stator-nya terdiri dari dua buah kutub magnet permanen (Johannes Lasroha Nababan, 2020).



Gambar 2. 7 Stator BLDC

3. Sensor hall

Agar dapat menghasilkan medan magnet pada stator dibutuhkan suatu alat yang dapat mengalirkan arus bolak-balik untuk menghasilkan elektromagnetik kutub utara ataupun selatan. Karena stator pada motor BLDC terdiri dari tiga belitan yang disusun bintang, Oleh karena itu untuk menggerakkan motor BLDC diperlukan inverter tiga fasa. Inverter itu sendiri merupakan rangkaian elektronika daya yang berfungsi mengubah arus dan tegangan searah (DC) menjadi arus dan tegangan bolak-balik (AC). Inverter tiga fasa sendiri pada dasarnya memiliki kesamaan dengan inverter satu fasa. Akan tetapi outputnya berupa tiga gelombang AC yang saling bergeser 120° yang satu dengan yang lainnya. Sebuah inverter tiga fasa terhubung dengan motor. Pengendalian pada bagian inverter ini seperti motor sinkron yang memiliki persamaan putaran mesin yang harus diimplementasikan dalam kontrol inverter. Suatu inverter tiga lengan yang mempunyai enam buah saklar elektronik yang dapat dikendalikan dalam kondisi on dan off-nya. Untuk memperoleh enam macam konfigurasi switching dari inverter. (Yunus Chandra Wibowo, 2018).

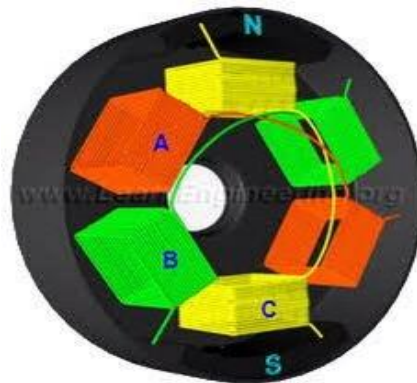
Tujuan dari pemberian tegangan AC 3 fasa pada stator BLDC adalah menciptakan medan magnet putar stator untuk menarik magnet rotor diperlukan pensaklaran suatu motor BLDC yang dikendalikan secara digital (Danu Akbar, 2018).



Gambar 2. 8 Sensor hall BLDC

2.4 Prinsip Kerja *Brushless Direct Current* (BLDC)

Prinsip kerja dari motor BLDC adalah gaya tarik menarik antara magnet permanen pada rotor dan elektromagnet pada stator, saat suatu kutub akan saling tolak menolak dengan kutub yang sejenisnya begitupun sebaliknya akan saling tarik menarik jika magnetnya berlawanan kutub. Gambar 2.9 memperlihatkan kumparan stator dalam motor BLDC tipe outrunner 3 fasa(A,B,C) dan 1 pasang kutub rotor. Setiap fase kumparan stator akan diberi daya DC secara bergantian supaya rotor dapat berputar.



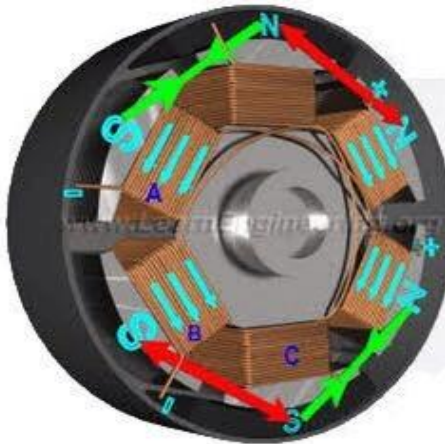
Gambar 2. 9 Kumparan stator 3 fasa

Ketika kumparan *stator* diberi daya DC maka kumparan *stator* akan menjadi elektromagnet seperti terlihat pada gambar 2.10.



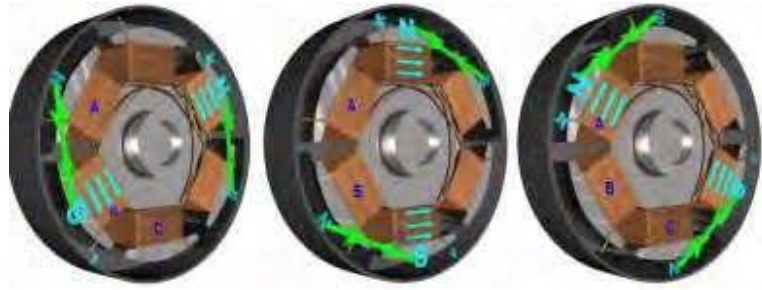
Gambar 2. 11 Kumparan 3 fasa

Pada Gambar 2.11 ketika kumparan A diberi daya DC dengan arah aliran arus seperti pada gambar maka akan timbul gaya elektromagnetik sehingga kutub berbeda antara *rotor* dan *stator* akan menghasilkan gaya tarik menarik satu sama lain akibatnya kutub *rotor* akan bergerak menuju ke kumparan A.



Gambar 2. 10 gaya tarik antara stator dan medan magnet

Gambar 2.12 memperlihatkan bahwa saat *rotor* mendekati kumparan A maka kumparan B akan diberi daya DC sedangkan aliran daya DC ke kumparan A diputus akibatnya sama seperti yang terjadi pada kumparan A ketika diberi daya DC, *rotor* akan bergerak mendekati kumparan B begitu seterusnya lalu ke kumparan C setelah itu kumparan A akan diberi daya DC dengan polaritas yang berbeda dengan sebelumnya sehingga rotor akan terus berputar (Dinansyar, 2016).



Gambar 2. 12 Urutan komutasi BLDC

2.5 Kapasitas *Brushless Direct Current* (BLDC)

Perhitungan pada *brushless direct current* (BLDC) begitu penting karena untuk memahami karakteristik dari sepeda listrik vanjaril. Meliputi *horse power* (Hp), Torsi, dan *revolution per minute* (rpm), berikut perhitungannya :

1. Untuk mengonversi daya dari watt (W) ke horse power (HP), kita dapat menggunakan rumus berikut :

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ Watt}$$

$$\text{Daya (HP)} = \frac{\text{Daya (watt)}}{746 \text{ watt}}$$

Di mana:

- a. Daya (HP) adalah daya dalam horse power.
- b. Daya (Watt) adalah daya dalam watt.

Rumus ini didasarkan pada definisi konversi standar bahwa 1 HP setara dengan 746 watt. Jadi, untuk mengonversi daya dari watt ke HP, kita hanya perlu membagi daya dalam watt dengan 746.

2. Torsi adalah kekuatan yang menghasilkan rotasi. Hal ini menyebabkan objek untuk berputar. Struktur kumparan sangat berpengaruh terhadap torsi. Untuk menghitung torsi perlu menggunakan horse power (HP) dan *revolution per minute* (rpm) (Immawan Insani, 2020).

$$T = \frac{5250 \times \text{Daya (Hp)}}{n}$$

Dimana : T = torsi

Hp = daya motor

n = kecepatan motor (rpm)

3. Kecepatan putaran yang dihasilkan suatu Motor Listrik, juga dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu Frekuensi dan Jumlah Kutub. Kecepatan Putaran (Rpm) biasa juga dituliskan dengan huruf N, dan besar RPM ini ditentukan oleh seberapa besar frekwensi listrik yang digunakan dikali dengan sudut phase (120°) dibagi dengan jumlah kutub gulungan (Pole).

$$N = \frac{f \times 120}{P}$$

Dimana : N= Jumlah putaran per menit (rpm)

F = Frekuensi Hz

P = jumlah kutub gulungan (Pole)

<https://www.gracioelectric.com/torsi/>

2.6 Uji Kerja *Brushless Direct Current* (BLDC)

Uji kerja sepeda listrik dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kecepatan maksimal sepeda listrik, kinerja sepeda listrik di pengaruhi oleh beberapa parameter penting yaitu kecepatan, torsi, dan daya, parameter yang penting untuk kinerja sepeda listrik adalah sebagai berikut :

1. Torsi

Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja yakni menggerakkan atau memindahkan mobil atau motor dari kondisi diam hingga berjalan untuk itu torsi berkaitan dengan akselerasi dan putaran bawah mesin. Torsi (*torque*) dapat diukur atau dihitung dalam dyno test menggunakan rumus dasar berikut :

$$\text{Torsi} = \frac{\text{Daya (HP)} \times 5252}{\text{Kecepatan (RPM)}}$$

<https://www.gracioelectric.com/torsi/>

Dalam rumus ini :

- a. Daya (HP) adalah daya mesin dalam horsepower.
- b. Kecepatan (RPM) adalah kecepatan putaran mesin dalam putaran per menit.

Rumus ini berasal dari rumus daya yang diubah untuk mencari torsi. Pada dasarnya, torsi adalah produk daya dan konstanta 5252.

2. *Horse Power (HP)*

Horse power (daya kuda) adalah sebuah satuan pengukuran daya atau tenaga yang digunakan untuk mengukur seberapa cepat suatu mesin dapat melakukan. Daya mesin (horsepower atau HP) dapat dihitung menggunakan hasil pengukuran torsi dan kecepatan yang diperoleh dari dyno test. Rumus umum untuk menghitung daya adalah:

$$\text{Daya (HP)} = \frac{\text{Torsi} \times \text{Kecepatan (RPM)}}{5252}$$

Dalam rumus ini:

- a. Torsi adalah torsi mesin yang diukur dalam satuan Newton meter (Nm).
- b. Kecepatan (RPM) adalah kecepatan putaran mesin yang diukur dalam putaran per menit.
- c. 5252 adalah konstanta yang digunakan untuk mengonversi satuan (kW ke HP dan RPM ke radian per detik). (A'an Adji Ahmad Sya'bani, 2022).

3. *Kilometers Per Hour (KPH)*

Dalam konteks dyno test, kecepatan kendaraan sering kali diukur sebagai bagian dari pengujian kinerja mesin. Kecepatan ini dapat diperoleh dari data putaran per menit (RPM) mesin dan ukuran roda pada dyno. Berikut adalah rumus umum untuk menghitung kecepatan kendaraan dalam kilometer per jam (KPH) berdasarkan data RPM dan diameter roda :

$$\text{KPH} = \frac{\text{RPM} \times \text{Diameter Roda} \times 3,1416 \times 60}{1000 \times 1000}$$

Dalam rumus ini:

- a. RPM adalah putaran per menit dari mesin kendaraan.
- b. Diameter Roda adalah diameter roda dyno dalam meter.

Faktor 3.1416 digunakan untuk mengonversi keliling roda dari meter ke kilometer, dan faktor 60 digunakan untuk mengonversi waktu dari menit ke jam. Faktor 1000×1000 digunakan untuk mengonversi hasil ke dalam kilometer per jam.

4. Kecepatan Putaran *revolution per minute* (rpm)

Pada kendaraan bermotor, kecepatan putar mesin dinyatakan dalam rpm dapat mempengaruhi kinerja kendaraan termasuk performa sepeda listrik vanjaril. Kecepatan putaran menunjukkan jumlah putaran dalam satuan waktu dan diberikan dalam putaran per menit. Mengetahui revolutions per minute (rpm) dari suatu mesin atau peralatan dapat membantu pengemudi memahami tingkat kecepatan dan menjaga kendaraan berada dalam batas yang aman. Berikut rumus rpm :

$$\text{Kecepatan (RPM)} = \frac{\text{Daya (HP)} \times 5252}{\text{Torsi}}$$

<https://www.gracioelectric.com/torsi/>

Dalam rumus ini:

- a. Kecepatan (RPM) adalah kecepatan putaran mesin yang diukur dalam putaran per menit.
- b. Torsi adalah torsi mesin yang diukur dalam satuan *Newton meter* (Nm).
- c. Daya (HP) adalah daya mesin dalam *horse power*.